

全国高职高专工程测量技术专业规划教材

工程测量技术

唐保华 主编

本书重点介绍了工程测量技术的基本知识、工程测设的基本方法、建筑工程测量、线路工程测量、水利工程测量、地下工程测量及工程建筑物变形观测的方法；简要说明了精密工程测量的仪器和测量方法；最后对摄影测量和 GPS 测量方法等新技术在工程测量中的应用作了介绍。

本书适合高职高专测绘类专业教学使用，也可供工程技术人员阅读参考，还可作为相关专业培训教材使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程测量技术/唐保华主编. —北京：中国电力出版社，2007

全国高职高专工程测量技术专业规划教材

ISBN 978-7-5083-5491-0

I. 工… II. 唐… III. 工程测量-高等学校：技术学校-教材 IV. TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 055199 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

策划编辑：王晓蕾 责任编辑：关 童

责任印制：陈焊彬 责任校对：付姗姗

北京同江印刷厂印刷·各地新华书店经售

2007 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·15.25 印张·378 千字

定价：31.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话 (010-88386685)

前 言

本书是根据教育部高职高专工程测量技术专业对工程测量课程的要求，本着以能力培养为本，理论知识够用为度，综合考虑各行业对工程测量技术人才培养要求的特殊性，在总结多年教学经验的基础上编写而成。

为使本教材能满足高职高专培养技术应用性人才的要求，力求内容精练，突出应用；编写中还力求做到基本概念准确，各部分内容紧扣培养目标，文字简练、相互协调、通顺易懂；不过分强调理论的系统性，做到理论与实际相结合，紧扣测量规范；注重学生实践能力的培养，以利于提高学生解决实际工程的水平。

本书主编为唐保华，副主编为熊德松、张艳华、曹志勇、史永宏。第2章、第4章、第11章由熊德松编写；第3章、第6章由张艳华编写；第5章、第7章、第9章由曹志勇编写；第8章、第10章由史永宏编写；第12章由王玉香编写；第13章由彭华编写；第1章、第14章、第15章由唐保华编写。全书由中南大学刘庆元教授主审。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请读者批评指正。

编者

目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 工程测量研究的对象及特点	1
1.2 工程测量的地位及其与邻近学科的关系	3
1.3 工程测量的发展趋势	3
小结	6
习题	6
第 2 章 地形图在工程建设中的应用	7
2.1 地形图在工程建设勘测设计阶段的应用	7
2.2 地形图在工矿企业设计中的应用	8
2.3 工程建设对地形图精度的要求	14
小结	20
习题	20
第 3 章 施工控制网的建立	21
3.1 概述	21
3.2 施工控制网的布设	22
3.3 施工控制网精度的确定方法	23
3.4 桥梁施工控制网的建立	25
3.5 水利枢纽施工控制网的建立	28
3.6 工业厂区施工控制网的建立	30
小结	31
习题	31
第 4 章 基本测设工作	32
4.1 概述	32
4.2 距离、角度、直线和高程放样	32
4.3 直接法、归化法点位放样	35
4.4 放样方法的选择	39
小结	40
习题	40
第 5 章 建筑工程测量	41
5.1 概述	41
5.2 建筑区控制测量	41
5.3 建筑场地平整测量	45
5.4 民用建筑物放样测量	45

5.5	工业建筑物放样测量	50
5.6	高层建筑物放样测量	56
	小结	59
	习题	59
第6章	水下地形测绘	61
6.1	概述	61
6.2	测深断面和测深点的布设方法	61
6.3	水下地形点平面位置的测定	63
6.4	水深测量	65
6.5	水位观测	68
6.6	水下地形图的绘制	70
6.7	水下地形测量自动化成图简介	73
6.8	河道地形纵、横断面图的测量	75
	小结	77
	习题	77
第7章	电力工程测量	78
7.1	概述	78
7.2	选定线测量	79
7.3	桩位间测量及断面测量	81
7.4	杆塔定位测量	82
7.5	杆塔基坑放样	82
7.6	拉线放样	84
7.7	导线弧垂的放样与观测	86
	小结	88
	习题	88
第8章	道路工程测量	89
8.1	概述	89
8.2	道路的初测	90
8.3	道路的定测	91
8.4	圆曲线的测设	102
8.5	缓和曲线的测设	109
8.6	综合曲线详细测设	112
8.7	复曲线的测设	118
8.8	竖曲线的测设	120
8.9	道路施工测量	122
8.10	管道测量	128
	小结	132
	习题	132
第9章	桥梁施工测量	133

9.1	桥梁施工控制网	133
9.2	桥梁墩、台定位测量	134
9.3	墩台纵、横轴线的测设	138
9.4	桥梁施工测量	139
	小结	140
	习题	140
第 10 章	地下工程测量	141
10.1	概述	141
10.2	地下工程控制测量	142
10.3	竖井联系测量	144
10.4	隧道施工测量	153
10.5	陀螺经纬仪定向测量	158
	小结	169
	习题	169
第 11 章	水工建筑物的施工测量	170
11.1	概述	170
11.2	坝体放样线的测设	171
11.3	水闸的施工放样	179
11.4	安装测量的基本工作	182
	小结	188
	习题	188
第 12 章	工程建筑物变形观测	190
12.1	概述	190
12.2	工作基点位移对变形值的影响	191
12.3	垂直位移观测	193
12.4	水平位移观测	195
12.5	裂缝观测	196
12.6	倾斜观测	196
12.7	观测资料的整编	198
	小结	200
	习题	200
第 13 章	精密工程测量	201
13.1	概述	201
13.2	控制网布设与标志的建立	201
13.3	精密基准线测量	209
13.4	精密距离测量	216
13.5	精密角度测量	217
13.6	精密垂准测量	219
	小结	221

习题	221
第 14 章 地质勘探工程测量	223
14.1 概述	223
14.2 勘探线、勘探网的测设	224
14.3 钻孔、探井及探槽等勘探工程位置的测定	224
14.4 剖面测量	225
14.5 地面地质填图测量	228
小结	229
习题	230
第 15 章 新技术在工程测量中的应用	231
15.1 摄影测量在工程测量中的应用	231
15.2 GPS 测量在工程测量中的应用	232
15.3 GPS 测量的特点	235
小结	236
习题	236
参考文献	237

第 1 章 绪 论

本章主要介绍工程测量的定义、研究的对象及特点、工程测量的分类、工程测量与其他学科的关系及发展动态。

1.1 工程测量研究的对象及特点

工程测量是一门应用学科，它是研究地球空间中具体几何实体测量和抽象几何实体测设的理论、方法和技术。主要应用在工程与工业建设、城市建设与国土资源开发，水陆交通与环境工程的减灾救灾等事业中，进行地形和相关信息的采集与处理、施工放样、设备安装、变形监测与分析预报等方面的理论和技术，以及与之有关的信息管理与使用。

工程测量主要是以建筑工程、机器和设备为研究服务对象。由于服务对象众多，所以它所包括的内容非常广泛。按照服务对象来划分，其内容大致可分为工业与民用建筑工程测量，水利水电工程测量，铁路、公路、管线、电力线架设等线路工程测量，桥梁工程测量，矿山工程测量，地质勘探工程测量，隧道及地下工程测量等。工程测量按照工程建设的顺序和相应作业的性质来看，可将工程测量的内容分为以下三个阶段的测量工作：

(1) 在勘测设计阶段的工作。工程在勘测设计阶段需要各种比例尺的地形图、纵横断面图及一定点位的各种样本数据，这些都是必须由测量工作来提供或到实地定点、定线。

(2) 施工阶段的测量工作。设计好的工程在经过各项审批后，即可进入施工阶段。这就需要将设计的工程位置标定在现场，作为实际施工的依据。在施工过程中还需对工程进行各种监测，确保工程质量。

(3) 工程竣工后运营管理阶段的测量工作。工程竣工后，需测绘工程竣工图或进行工程最终定位测量，作为工程验收和移交的依据。对于一些大型工程和重要工程，还需对其安全性和稳定性进行监测，为工程的安全运营提供保障。

可见，工程测量就是围绕着各项工程建设对测量的需要所进行的一系列有关测量理论、方法和仪器设备进行研究的一门学科，它在国民经济建设和国防建设中起到了极其重要作用。但是对于不同的工程，其具体内容有所不同，现举其中几例来说明。

1.1.1 工业与民用建筑工程测量

工业与民用建筑工程测量是指建筑工业与民用建筑工程在勘测、设计施工和竣工验收、运营管理过程中的测量工作。具体有以下工作：

(1) 测绘地形图。在勘测设计阶段，为了为建筑物的具体设计提供地形资料，需在建筑区进行测绘地形图、纵横断面图、定点放样等测量工作。由于其测量工作只是在很小的区域进行，因此作业过程中可以不顾及地球曲率影响和正常高的改正，只须按常规作业程序进行作业即可满足精度要求。

(2) 利用地图。建筑物的设计方案力求经济、合理、实用、美观环保，需要应用地图制图学的理论和方法在图上测量距离、角度等要素，确定建筑物在图上的具体位置，并为标定

到现场提供测量数据。

(3) 工程放样。建筑物进入施工阶段就需要根据它的设计图纸，按照设计要求，通过测量的定位、放线和标高测量，将其平面位置标定到施工的作业面上。另外，在施工过程中还要随时对建筑物进行安全监测，为施工提供依据，指导施工。

(4) 竣工及营运管理中测量工作。建筑物竣工后，需测绘竣工图及其他点、线位置，作为验收的依据，交付使用后，还需对其进行沉降、水平位移、倾斜、挠度、裂缝观测，从而监视该建筑物在各种外界因素的影响下的安全性和稳定性，为建筑物的安全使用提供测绘保障。

1.1.2 线路工程测量

线路工程包括公路、铁路、输电线、输油线路、灌渠以及各种地下管线等工程。各种线性工程在勘测设计、施工建设和竣工验收及营运管理阶段的测量工作统称为线路工程测量。

1. 勘测设计阶段的测量工作

(1) 线路初测。线路初测是根据计划任务书确定的修改原则和线路的基本走向，通过对几条有比较价值的线路进行实地勘测，从中确定最佳方案，为编制初步设计文件提供资料。测量的主要内容有控制测量、高程测量、横断面测量和地形测量。

(2) 线路定测。线路定测是根据批准的初步设计文件和确定的最佳线路方向及有关构造建筑物的布设方案将图纸上初步设计的线路和构筑物位置测设到实地，并根据现场的具体情况，对不能按原设计之处作局部线路调整，为施工图提供设计资料。它包括中线测量、高程测量、纵横断面测量。

2. 施工阶段的测量工作

在施工阶段，首先要检测设计阶段所建立的平面、高程控制桩位，在检测基础上进行线路中线的恢复。另外，要进行路基放样、边坡放样、建构物的定位放样等工作。

3. 竣工验收和运营管理阶段的测量工作

线路工程竣工后，为了检查工程质量是否符合要求，需进行竣工测量。竣工测量主要是在控制测量和高程测量的基础上进行中线位置和里程桩的标定。测绘线路中心线纵断面和路基横断面图，在大型构筑物附近设置平面和高程控制点，供以后工程养护管理使用。在工程运营过程中还需对路面、构筑物、护坡进行沉降、位移监测，为线路安全运营提供可靠保障。

1.1.3 地质矿山工程测量

通常将配合地质找矿、矿物开采工作的各种测量工作统称为地质矿山工程测量。其中配合地质技术找矿方法的测量工作叫“地质勘探工程测量”，配合地球物理勘探和地球化学勘探技术找矿方法的测量工作叫“物化探测量”，配合矿物开采的测量工作叫“矿山工程测量”。地质矿山工程测量主要工作有以下几个方面内容：

(1) 按地质勘查工作的需要，提供矿区的控制测量和各种比例尺的地形图等基本测绘资料。

(2) 根据地质勘探工程的设计，在实地定点、定线，为提供工程的施工位置和方向，指导地质勘探工程的施工。

(3) 及时准确地测定已竣工工程的坐标和高程，为编写地质报告和储量计算提供必要的

测绘数据和资料。

(4) 在矿山设计、施工和生产阶段测绘各种大比例尺地形图,进行建筑物及构筑物的放样、设备的安装测量、线路测量等工作,生产时随时需要进行巷道标定与测绘、储量管理和开采监督、岩层与地表变化的观测与研究、露天矿边坡稳定性观测与研究等。

1.1.4 军事工程测量

军事工程测量是在军事工程建设的勘测设计,施工建设和运营管理阶段所进行的测量工作,为各种军事工程建设提供精确数据、地形图等。保障工程建设按照设计竣工和安全有效地使用。其主要包括军用道路测量、地下军事工程测量、军港测量、机场测量、靶场工程测量、军事设施测量及军事工程建筑物和构筑物的变形观测等。

1.2 工程测量的地位及其与邻近学科的关系

工程测量学科的发展,与现代科学技术的发展水平,与人类社会的生产活动等密切相关。随着学科的发展,工程测量已由原来的历史的土木工程测量向“广义工程测量”发展。即“不属于地球测量,不属于有关国家地图集的陆地测量和不属于公务测量的实际测量课题,都属于工程测量。”

工程测量在我国的社会主义现代化建设中发挥着巨大的作用。

在工业方面,各种工业厂房的建设,设备的安装、调试都要进行工程测量。

在交通运输方面,各种道路的建设,隧道的贯通,桥梁的架设,港口的建设,如长达 2255km 的康藏公路、兰新铁路、安康铁路、成昆铁路都是巨大而艰难的工程。工程测量是完成这些工程的重要保证。

在水利建设方面,各种水库、水坝及引水隧洞,水电站工程,例如三峡工程、长江葛洲坝工程、黄河小浪底工程及二滩电站都是大型的拦洪蓄水发电、灌溉的水利工程、南水北调工程等,这些工程不仅在清理地基、浇灌基础、竖立模板、开挖隧道、建设厂房和设备安装中进行工程测量,而且建成后还须进行长期的变形观测,监测大坝和河堤的安全。

国防工业和军事工程建设方面配合各种武器型号的试验,卫星、导弹和其他航天器的发射,都进行了大量的军事工程测量工作,为其提供了可靠的保障。

工程测量在国家建设中作用越来越体现出其重要性,在工程测量应用的同时也与其他学科产生了越来越紧密的联系。一方面它需要应用测量学、摄影测量与遥感、地图制图、地理学、环境科学、建筑学、力学、计算机科学、人工智能、自动化理论、计量技术、网络技术新技术新理论解决工程测量中的难题,丰富其内容;另一方面,通过在工程测量中的应用,使这些新的科学更加富有生命力。例如 GPS、GIS 和 RS 应用于工程勘测、资源开发、城市和区域专用信息管理系统及工程管理信息数据库。CCD 固态摄影机使“立体视觉系统”迅速发展,应用到三维工业测量系统中;机器人技术应用于施工测量自动化,传感器技术和激光技术、计算机技术促进了工程测量仪器的自动化。

由此可见,这些新技术新理论不断充实工程测量,成为工程测量不可缺少的内容,同时也促进了工程测量学科的发展和应用。

1.3 工程测量的发展趋势

随着传统测绘技术走向数字化,工程测量的服务不断拓宽,与其他学科的互相渗透和交

叉不断加强，新技术、新理论的引进和应用不断深入，因此可以看到，工程测量将会沿着测量数据采集和处理向一体化、实时化、数字化方向发展；测量仪器向精密化、自动化、信息化、智能化发展；工程测量产品向多样化、网络化和社会化方向发展。

1.3.1 大比例尺工程测图数字化

大比例尺地形图和工程图的测绘是工程测量的重要内容和任务之一。工程建设规模扩大、城市迅速扩展以及土地利用、地籍图应用都需要缩短成图周期和实现成图的数字化。

国内大比例尺工程测图数字化在近几年内得到迅速发展，测量仪器的软件不断得到创新和推出，如南方测绘仪器公司、北京博飞测绘仪器公司、江苏光学仪器公司都推出了价廉物美的全站型速测仪和 GPS 全球定位系统。软件方面也趋于成熟，如南方公司的 CASS 测图软件，中翰测绘仪器公司的 CSC 测图软件，清华山维推出的测图软件，各测绘单位也自主开发了测图软件等，使中国的数字化测图由不知到应用甚少发展到目前成为测图的主流方法，为推动中国测绘走向数字化，信息化作出重要贡献。

1.3.2 工业测量系统的最新进展

20 世纪 80 年代以来，现代工业生产进入了一个新阶段，许多新的设计、工艺要求对生产的自动化流程、生产过程控制、产品质量检验与监测等工作进行快速、高精度的测点定位，并给出工作时复杂形体的三维数学模型，利用传统的光学、机械等工业测量方法都无法完成，而利用电子经纬仪、全站仪、数码相机等作为传感器，在计算机的控制下，工业测量系统完成工作的非接触和实时三维坐标测量，并在现场进行测量数据的处理、分析和管理的系统，与传统的工业测量方法相比较，工业测量系统在实时性、非接触性、机动性和与 CAD/CAM 联接等方面有突出的优点，因此在工业界得到广泛的应用。

1. 电子经纬仪测量系统

电子经纬仪测量系统 (MTS) 是由多台高精度电子经纬仪构成的空间角度前方交会测量系统，如 Lecia 在 1995 年前推出的 MANTCA 系统与 ECDS 系统，最多可接洽 8 台电子经纬仪。现在波音和麦道飞机制造公司及其合作伙伴（如中国上飞、沈飞、西飞等）还在使用 MANTCA 系统。

经纬仪测量系统的硬件设备主要由高精度的电子经纬仪、基准尺、接口和联机电缆及微机等组成。采用手动照准目标、经纬仪自动读数、逐点观测的方法。该测量系统在几米至几十米的测量范围内的精度可达到 $0.22 \sim 0.05\text{mm}$ 。

2. 全站仪极坐标测量系统

全站仪极坐标测量系统是由一台高精度的测角、测距全站仪构成的单台仪器三维坐标测量系统 (STS)。全站仪极坐标测量系统在近距离测量时采用免棱镜测量，为特殊环境下的距离测量提供了方便。

3. 激光跟踪测量系统

激光跟踪测量系统的代表产品为 SMART310，与常规经纬仪测量系统不同的是 SMART310 激光跟踪测量系统可全自动地跟踪反射装置，只要将反射装置在被测物的表面移动，就可实现该表面的快速数字化，由于干涉测量的速度极快，其坐标重复测量精度高达 5×10^{-6} ，因此它特别适用于动态目标的监测。

4. 数字摄影测量系统

数字摄影测量系统是采用数字近景摄影测量原理，通过 2 台高分辨率的数码相机对被测

物同时拍摄，得到物体的数字影像，经计算机图像处理得到精确的 X, Y, Z 坐标。美国大地测量服务公司 (GSI) 生产的 V-SARS 是数字摄影测量系统的典型产品。数字摄影测量系统的最新进展是采用高分辨率的数字相机来提高测量精度。另外，利用条码测量标志可以实现控制编号的自动识别，采用专用纹理投影可代替物体表面的标志设置，这些新技术也正促使数字摄影测量向完全自动化方向发展。

1.3.3 施工测量仪器和专用仪器向自动化智能化方向发展

施工测量的工作量大，现场条件复杂，施工测量仪器的自动化、智能化是施工测量仪器今后发展的方向。具体体现在以下几个方面：

(1) 精密角度测量仪器发展到用光电测角代替光学测角。光电测角能够实现数据的自动获取、改正、显示、存储和传输，测角精度与光学仪器相当并且甚至超过光学仪器的测角精度，如 T2000、T3000 电子经纬仪采用动态测量原理，测角精度达到 $0.5''$ 。马达驱动的电子经纬仪和目标识别功能实现了目标的自动照准。

(2) 精密工程安装、放样仪器以全站型速测仪发展最为迅速。全站仪不仅能自动测角、测距、自动记录、计算、存储等，还可以在完善的硬件条件下，进行软件开发，实现控制测量、施工测量、地形测量一体化及中文显示的人机对话功能。

(3) 精密距离测量仪器的精度与自动化程度愈来愈高。

(4) 高精度定向仪器，如陀螺仪采用电子计时法，定向精度从 $\pm 20''$ 提高到 $\pm 4''$ 。目前陀螺仪正向激光陀螺定向发展。

(5) 精密高程测量仪器，采用数字水准仪实现了高程测量的自动化。例如：Leica NA 3003 和 Topcon DL101 全自动数字式水准仪的条码水准标尺，利用图像匹配原理实现自动读取视线高和距离，测量精度达到每千米往返测高差均值的标准差为 0.4mm ，测量速度比常规水准快 30%。而德国 REAN002A 记录式精密补偿器水准仪和 TELAMAT 激光扫平仪实现了几何水准测量的自动安平，自动读数和记录，自动检核，为高程测量和放样提供了极大的方便。

(6) 工程测量专用仪器，主要指用于应变测量、准直测量和倾斜测量等需要的专用仪器。

(7) GPS 在测量中的应用。

1.3.4 特种精密工程测量的发展

为满足大型精密工程施工的需要，往往要进行精密工程测量，大型精密工程不仅施工复杂，难度大，而且对测量精度要求高。这就需要将大地测量学和计量学结合起来，使用精密测量计量仪器，在超出计量的条件下，达到 10^{-6} 以上的相对精度。如：研究基本粒子结构和性质的高能粒子加速器工程，要求安装两相邻电磁铁的相对精度不超过 $\pm(0.1\sim 0.2)\text{mm}$ ，这就要求我们必须采用最优布网方案，研制专门的测量仪器，采用合理的测量方法和数据处理方法来实施该测量方案。

1.3.5 工程摄影测量和遥感技术的应用

由于摄影测量和遥感技术的非接触性、实时性使得其在工程施工、监测方面应用相当普遍，主要体现在以下几个方面：

(1) 在建筑施工过程中，利用地面立体摄影方法检核构件的装配精度；

(2) 以解析法地面立体摄影测量配合航空摄影测量进行滑坡监测与地表形变观测；

- (3) 应用精密地面立体摄影方法测定工程建筑物与构筑物的外形及其变形；
- (4) 应用摄影测量技术为造船、汽车、飞机制造企业进行各种特性测试。

小 结

本章给出了工程测量的定义，工程测量工作的三个环节；对于工程测量在不同工程领域的应用也作了较为详细的阐述，使学生能对工程测量的应用有一个较为全面的了解；工程测量更多的是为工程建设服务，故与其他学科也有着较为紧密的联系，本章节对这方面也作了叙述，以拓宽学生的视野；工程测量技术也是随着科技的进步而不断发展，本章对于其发展前景也作了一些说明。

习 题

1. 工程测量的定义是什么？其工作分为哪几个阶段？
2. 举一个身边发生的与工程测量相关的例子，说明工程测量对工程建设的重要性。

第 2 章 地形图在工程建设中的应用

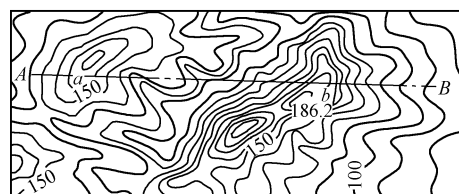
工程建设中的地形图测绘与应用即模拟或数字地形资料的获取、表达与应用是工程测量学的重要内容之一，在“地形测量学”和“数字化测图”课程中已有学习。本章主要说明工程建设在规划阶段对地形图的要求，然后讲述大比例尺地形图的精度，对大比例尺地形图在工程建设中的应用如绘制断面图、按规定坡度选最短路线以及平整土地等进行了叙述，讲述了工程竣工图测绘和水下地形图测绘，最后介绍了数字地面模型和勘测设计一体化方面的内容。

2.1 地形图在工程建设勘测设计阶段的应用

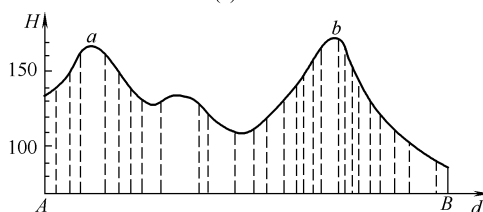
2.1.1 按一定方向绘制断面图

在进行道路、隧道、管线等工程设计中，往往需要了解两点之间的地面起伏情况。断面图的绘制有两种方法：根据已有的地形图按一定方向绘制断面图；实地测绘断面图。这里所讲的是根据已有的地形图按一定方向绘制断面图。

如图 2-1 (a) 所示，在地形图上作 A, B 两点的连线，与各等高线相交，各交点的高程即各等高线的高程，而各交点的平距可在图上用比例尺量得。作地形断面图 [图 2-1 (b)] 时，先在毫米方格纸上画出两条相互垂直的轴线，以横轴 Ad 表示平距，以纵轴 AH 表示高程。然后在地形图上量取 A 点至各交点和 a, b 的平距，并把它们分别转绘在横轴上，以相应的高程作为纵坐标，得到各交点和在断面上的位置。连接这些点即得到 AB 方向上的断面图。为了更明显地表示地面的高低起伏情况，断面图上的高程比例尺一般是平距比例尺的 10~20 倍。



(a)



(b)

图 2-1 绘制断面图

(a) 地形图上断面线的确定；(b) 地形断面图

2.1.2 按规定坡度选最短路线

在道路、渠道、管线等工程设计中，常需要按某一限定坡度选一条最短路线或等坡线，以减少建设费用。如图 2-2 所示，欲从河边 A 点开始向上到 B 点选一条公路。已知地形图等高线的等高距为 $h=2\text{m}$ ，规定坡度为 $i=5\%$ ，则路线通过相邻等高线的最短路线应该是

$$S = \frac{h}{i} = \frac{2\text{m}}{5\%} = 40\text{m}$$

这时，即以 A 为圆心，按地形图比例尺以 40m 为半径作圆弧，与 48m 等高线相交于 1 或 1'

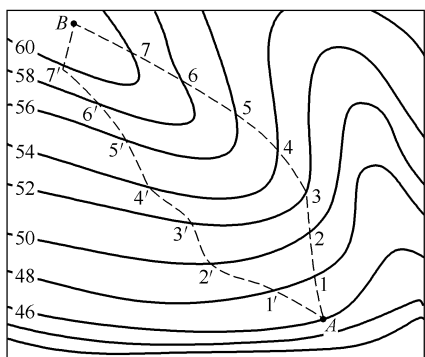


图 2-2 图上选线

点，又以 1 或 1' 为圆心，以 40m 为半径作弧，与 50m 等高线交于 2 或 2'，依次类推。然后把这些相邻的点连接起来，可在图上选出两条坡度为 5% 的路线的大致方向，然后到实地踏勘和比较，选出一条较为理想的路线。

2.1.3 汇水面积及水库蓄水量的确定

在水库、涵洞、排水管等工程设计中，都需要确定汇水面积。地面上某区域内雨水注入同一山谷或河流，并通过某一断面，这个区域的面积称为汇水面积。确定汇水面积首先要确定出汇水面积的边界线，即汇水范围。汇水面积的边界线是由一系列

山脊线（分水线）连接而成的。

如图 2-3 所示，图中山脊线与坝轴线 MN 所包围的面积，就是水库的汇水面积。

确定了汇水范围后，可以计算其汇水面积。有了汇水面积后，可根据该地区年平均降雨量等资料，确定水库的溢洪道起点高程和水库的淹没面积。在图 2-3 中，若溢洪道起点高程为 286m，则被 286m 等高线所包围的全部面积将被淹没。设 280m, 282m, 284m, 286m 这四条等高线与坝轴线 MN 围成的面积为 S_{280} , S_{282} , S_{284} , S_{286} 。地形图的等高距 h 是已知的，则两水平面之间所包围的体积（即每层的体积）计算公式是

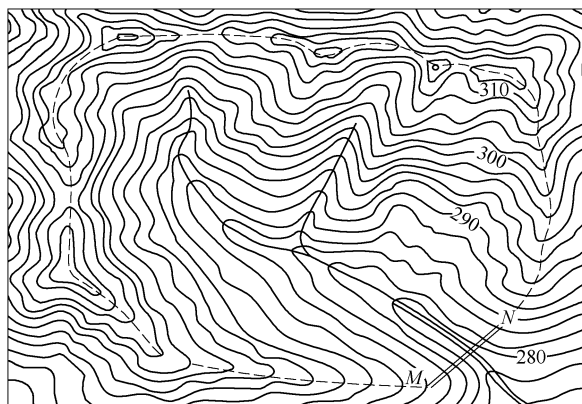


图 2-3 水库的汇水面积

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{1}{3} h' S_{280} \\ V_2 &= \frac{1}{2} (S_{280} + S_{282}) h \\ V_3 &= \frac{1}{2} (S_{282} + S_{284}) h \\ V_4 &= \frac{1}{2} (S_{284} + S_{286}) h \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

那么，水库蓄水的总体积为

$$\Sigma V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad (2-2)$$

式中 h ——等高距；

h' ——库底高程与最低一条等高线（280m）的高程之差。

2.2 地形图在工矿企业设计中的应用

2.2.1 平整场地

在工矿企业地面工程中，往往要进行场地平整工作。在地形图上或数字地面模型上进行平整工作，大多数工程要求将地面平整为水平面或斜面，使改造后的地貌适于布置和修建建

筑物、便于组织排水、满足交通运输和敷设地下管线的需要。在改造地貌的过程中，既要顾及到土石方工程量的大小，又要遵循填方与挖方基本平衡的原则。计算土石方量的方法通常有三种：实测方格网法和断面法、等高线法。下面主要以地形图上内插方格网的方法为例说明其操作步骤，实测方法则与其大致相同。

1. 设计面为水平面时的场地平整

(1) 在地形图拟建场地内绘制方格网。方格边长根据地形复杂程度、地形图的比例尺以及估算的精度不同而异。使用 1:500 地形图时，根据地形复杂情况，一般以 10m 或 20m 为宜。当采用机械施工时，可取 40m 或 100m。绘完方格后，进行排序编号，如图 2-4 水平面的场地平整所示，并内插求出每个方格点的地面高程，写在每个方格点的右上方。

(2) 计算设计高程。在满足填挖方量基本平衡的前提下，设计高程也可以认为是场地的平均高程。但计算时不能简单地取各方格点高程的算术平均值。因为与各方格网点高程相关的方格数不同，也可理解为各方格网点高程的权不一样。如果假设与一个方格相关的方格点（角点），其高程的权为 1，与两个方格相关的方格点（边点），其高程的权为 2，与三个方格相关的方格点（拐点），其高程的权为 3，与四个方格相关的方格点（中点），其高程的权为 4，则可利用求加权平均值的方法计算高程，其一般公式为

$$H_{\text{设}} = \frac{\sum P_i H_i}{\sum P_i} \quad (2-3)$$

式中 $H_{\text{设}}$ ——水平场地的设计高程；

H_i ——方格点的地面高程；

P_i ——方格点 i 的权，可根据方格点的位置在 1, 2, 3, 4 中取值。

现将图 2-4 中各方格点的高程及权代入式 (2-3) 得设计高程：

$$H_{\text{设}} = [1 \times (34.80 + 33.10 + 32.25 + 31.30 + 33.20) + 2 \times (34.15 + 33.45 + 31.75 + 31.85 + 32.40 + 32.80 + 33.75 + 34.40) + 3 \times 32.65 + 4 \times (33.70 + 33.55 + 33.30 + 32.75 + 32.20)] \text{m} / (1 \times 5 + 2 \times 8 + 3 \times 1 + 4 \times 5) = 33.04 \text{m}$$

(3) 绘出填、挖边界线。在地形图上根据等高线内插出高程为设计高程 33.04m 的曲线，这条曲线即为填、挖边界线（图 2-4 中带有短线的曲线），也称填挖零线。

(4) 计算填、挖高度。各方格点的填、挖高度为该点的地面高程及设计高程之差，即填、挖高度 = 地面高程 - 设计高程

$$h_i = H_i - H_{\text{设}} \quad (2-4)$$

其中 h_i ——为填、挖高度。 h_i 为正表示挖方，为负表示填方。

根据式 (2-4) 计算的数值注在方格点的左上方。

(5) 计算挖、填土石方工程量。挖、填土石方工程量要分别计算，不得正负抵消。计算

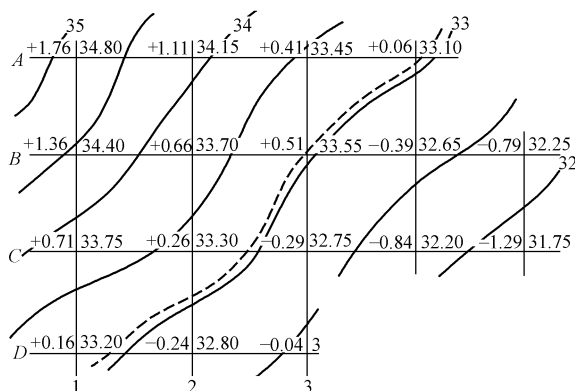


图 2-4 水平面的场地平整

方法是：

角点：挖（填）高度 $\times(1/4)$ 方格面积

边点：挖（填）高度 $\times(2/4)$ 方格面积

拐点：挖（填）高度 $\times(3/4)$ 方格面积

中点：挖（填）高度 $\times(4/4)$ 方格面积

分别计算出挖、填土石方工程量。将全部方格的填、挖土石方工程量都计算出来以后，按填、挖土石方工程量分别求和，即得总和的填、挖土石方量。

(6) 放样填、挖边界线及填、挖高度。在拟建场地内，按适当间隔分别放样出设计高程点，用明显标志将这些设计高程点连成曲线，该曲线即为填、挖边界线。

填、挖高度的放样，应首先将地形图上设计的方格点放样于实地，并钉木桩表示。然后在木桩上注记相应各方格点的填、挖高度，作为平整场地的依据。

2. 设计面为倾斜面时的场地平整

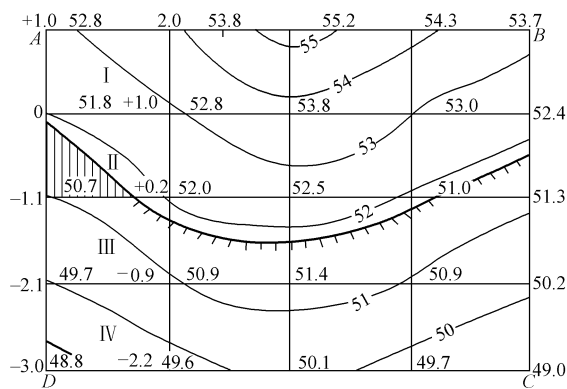


图 2-5 倾斜面的场地平整

若将图 2-5 表示的地面，根据地貌的自然坡降，平整为从北到南坡度为 8% 的倾斜场地，且要保证填、挖土石方工程量基本平衡的原则，其作业步骤如下所述。

(1) 绘制方格网。同水平场地绘制方法相同（如图 2-5 倾斜面的场地平整所示）。

(2) 计算设计高程。若使填、挖方量总平衡，对于倾斜场地，应首先确定重心点，以重心点高程为设计高程（平均高程），再求出其他方格点的设计高程。

程作为依据。对于对称图形，重心线为图形中心。所以仍可按水平场地计算设计高程的方法，求出场地重心线处的设计高程 51.8m。

(3) 确定倾斜面最高点格网线和最低点格网线的设计高程。如图 2-6 所示，按设计要求，AB 为场地的最高边线，CD 为场地的最低边线。已知 AD 边长为 40m，则最高边线与最低边线的设计高差为

$$h = 40\text{m} \times 8/100 = 3.2\text{m}$$

由于场地重心线（图形中心轴线）的设计高程为 51.8m，所以倾斜场地最高边线和最低边线的设计高程分别为

$$H_A = H_B = 51.8\text{m} + 3.2\text{m}/2 = 53.4\text{m}$$

$$H_C = H_D = 51.8\text{m} - 3.2\text{m}/2 = 50.2\text{m}$$

(4) 确定填、挖边界线。沿 AD 及 BC 边线，根据最高边线和最低边线的设计高程内插出 51m、52m、53m 的平行等高线（图中虚线），这些虚线为 8% 倾斜场地上

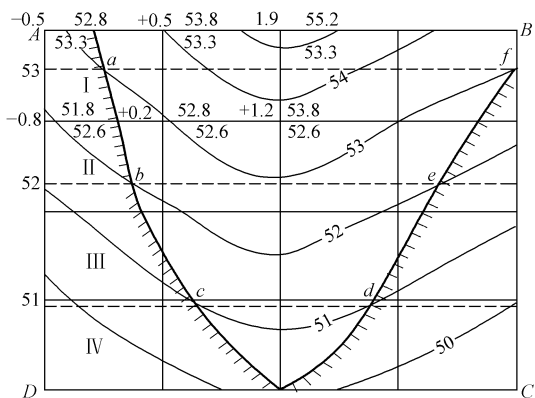


图 2-6 确定格网线高程